



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. Каразіна
Кафедра прикладної хімії

Основи радіохімії та радіоекології

Теми 11-16

Основи радіоекології

доц. А.П. Краснопорова
2023



Основи радіоекології

Тема 11. Зародження радіоекології. Специфіка та завдання радіоекології.

Тема 12. Дозиметрія іонізуючих випромінювань.

Тема 13. Радіаційний моніторинг і принципи його організації.

Тема 14. Джерела опромінення людини іонізуючою радіацією.

Тема 15. Біологічна дія іонізуючих випромінювань.

Тема 16. Норми радіаційної безпеки та принципи радіаційного захисту.

ТЕМА 11

**Зародження радіоекології.
Специфіка та завдання
радіоекології**

Зародження радіоекології

Дещо більше 100 років тому людство вперше дізналося про явище радіоактивності та існування іонізуючого випромінювання.

Вже в цей період видатні вчені, які працюювали з радіоактивними джерелами, звернули увагу на їх надзвичайно високу біологічну небезпеку.

Анрі Беккерель не лише першим встановив факт природної радіоактивності, але першим відчув пошкоджуючу дію радіації.

Протягом 6 годин А. Беккерель носив у кишені скляну ампулу з радієм і отримав у результаті опік шкіри.

Марія Склодовська-Кюрі працювала в лабораторії над виділенням радіоактивних елементів практично голими руками, внаслідок чого отримала захворювання шкіри рук та померла від злоякісного захворювання крові.

На той час ще не були відомі потенційні можливості ядерної енергії: не існувало ядерної енергетики, ще не було створено ядерної зброї, а отже, навіть у перспективі не існувало загрози масової радіаційної небезпеці.



**П'єр Кюрі
(1859–1906)**

Хоча багато вчених-фізиків про це здогадувалися, отримуючи 1903році Нобелівську премію за відкриття явища радіоактивності П'єр Кюрі сказав:

«Можна припустити, що у злочинних руках радій стане дуже небезпечним, і тут доречно поставити запитання, чи зацікавлене людство у подальшому розкритті секретів природи, чи достатньо воно дозріло для того, щоб з користю застосувати отримані знання, чи не можуть вони негативно вплинути на майбутнє людств?»

Я належу до тих, хто думає, що людство зуміє витягти з нових відкриттів більше добра, ніж зла».



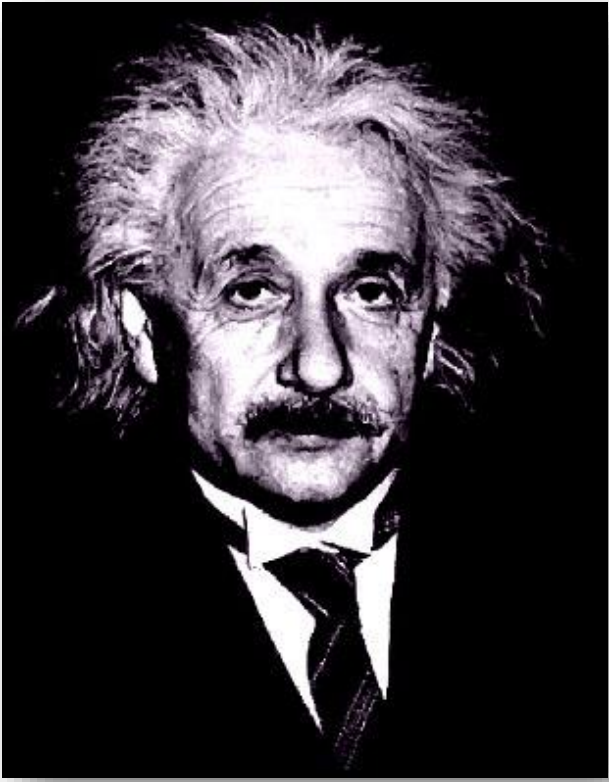
**В.І. Вернадський
(1864-1945)**

Видатний учений та перший президент Академії наук України Володимир Іванович Вернадський у 1922 р. пророчо писав:

«Ми підходимо до великого перевороту у житті людства, з яким не може зрівнятися все ним раніше пережите.

Неподалік час, коли людина отримає в свої руки таке джерело сили, яке дасть йому можливість будувати своє життя як він захоче.

Чи зможе людина скористатися цією силою, спрямувати її на добро, а не на самознищення? Чи виросла вона до вміння використати цю силу, яку неминуче має дати йому наука?»



**Альберт Эйнштейн
(1879 —1955)**

Видатний фізик Альберт Ейнштейн писав: «Якщо наша фантазія досить сильна, щоб уявити всі добрі плоди атомної техніки, то вона зовсім безсила уявити те зло, яке вона могла б завдати.

Нехай збереже нас небо від того, щоб вибухові сили, що таяться в атомному ядрі, були колись випущені проти людства».

Зародження радіоекології

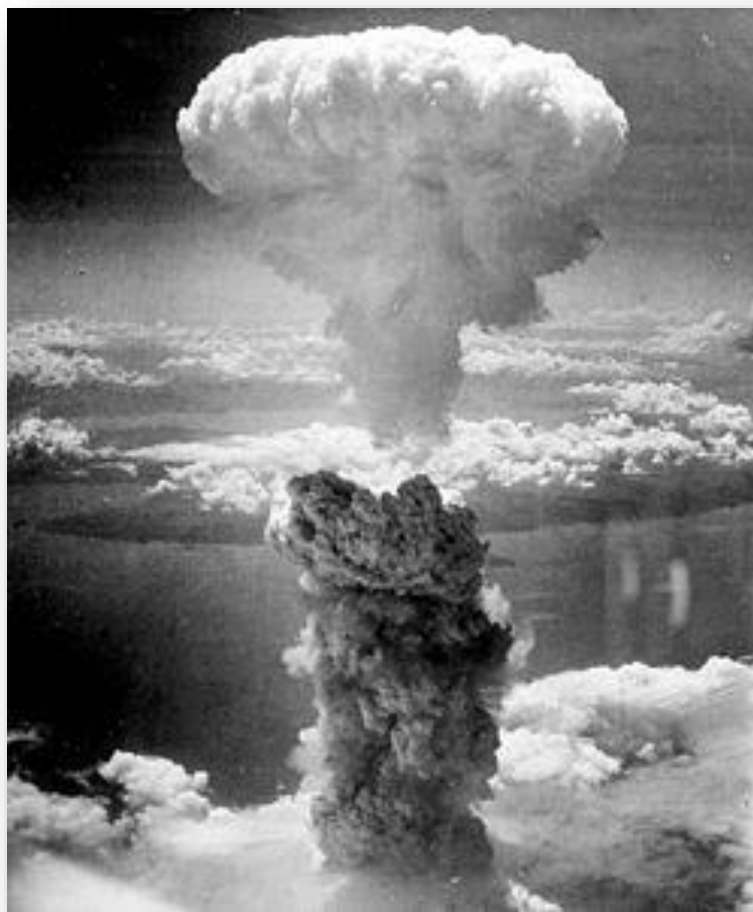
Пройшло зовсім небагато часу, і «вибухові сили, що таяться в атомному ядрі» були випущені проти людства бомбардуваннями США японських міст Хіросіми та Нагасакі, перш ніж вони були використані на його благо.

Друга світова війна дала сильний поштовх розвитку ядерної фізики. Завдяки успіхам у розвитку ядерної фізики було створено зброю масового знищення.

"Манхеттенський проект«(США) – це кодова назва програми з розробки ядерної зброї, здійснення якої почалося у вересні 1942 року.

У рамках проекту було створено три атомні бомби: плутонієву «Трініті» (підірвано при першому ядерному випробуванні), уранову «Малюк» (скинуто на Хіросіму 6 серпня 1945 року) та плутонієву «Товстун» (скинуто на Нагасакі 9 серпня 1945 року).

Ядерний гриб в Нагасакі 9 серпня 1945 р.



Бойове та мирне застосування енергії ядра

Атомні бомбардування японських міст Хіросіми і Нагасакі-єдині в історії людства два приклади бойового застосування ядерної зброї.

Вважається, що 140 000 людей померло в Хіросімі від вибуху та його наслідків; аналогічна оцінка для Нагасакі складає 74 000 чоловік. Ці цифри опубліковані у лютому 1946р. штабом американської окупаційної армії в Японії не враховують військових та померлих згодом від променевої хвороби.

У той же саме час були зроблені перші кроки до використання ядерних сил у мирних цілях.

У жовтні 1945 року академік Петро Капиця звернувся до уряду СРСР «Про застосування внутрішньоатомної енергії в мирних цілях», а вже 26 червня 1954 було запущено першу в світі АЕС (м. Обнінск, Калузької обл.). Станція пропрацювала 48 років.

29 квітня 2002 року реактор першої АЕС був зупинений з економічних міркувань.

Загрози додаткового опромінення

Окрім загрози ядерної катастрофи ядерне століття породило багато інших проблем.

Протягом тисячоліть на живі організми впливала лише природна радіація, обумовлена космічним випромінюванням і випромінюванням від природних радіонуклідів, що у біосфері Землі, до якого людство пристосувалася.

Вже сьогодні виникне реальна загроза збільшення радіаційного фону внаслідок:

- забруднення атмосфери та ґрунту радіоактивними продуктами випробувальних ядерних вибухів та роботи підприємств атомної енергетики;
- спалювання вугілля;
- широкого поширення медичної діагностики та променевої терапії;
- перебування у закритих приміщеннях;
- використання повітряного транспорту;
- використання нових будівельних матеріалів опромінення людини зросло більш ніж в 2 рази.

Екологія, визначення

Нинішній час – це час пізнання відносин людини з довкіллям. Ось чому його називають ще часом екології.

Термін «екологія» був запропонований в 1866 німецьким біологом-еволюціоністом Ернстом Геккелем.

Він розумів екологію як науку, що вивчає взаємини живого з навколишнім середовищем, як органічним, так і неорганічним.

У сучасному розумінні, екологія – це наука про взаємини між живими організмами та середовищем їхнього існування.

У бурхливому розвитку загальної екології важливе місце займає прогрес однієї з її гілок – радіаційної екології-науки, що вивчає роль іонізуючої радіації як екологічного фактора.

Відношення між радіоекологією та екологією навколишнього середовища є відношення частини та цілого.

Визначення радіоекології

Одне з перших визначень радіоекології було дано в 1956 р. О. А. Передельським (учень Вернадського):

«Радіоекологія вивчає взаємовідносини радіоактивного середовища з організмами та їх співтовариствами, процеси міграції та накопичення радіонуклідів у харчових ланцюгах, а також якісні та кількісні зміни біосфери під дією зовнішнього та внутрішнього опромінення».

Сучасне визначення радіоекології формулюється так:

«Радіоекологія- це наука, що вивчає закономірності міграції радіоактивних речовин у біосфері Землі, включаючи літосферу, гідросферу та тропосферу) та особливості дії радіації на організм при зовнішньому та внутрішньому опроміненні».

Коротше визначення – радіоекологія це наука, що вивчає роль іонізуючої радіації як екологічного фактору.

Специфіка та завдання радіоекології

Специфіка радіоекології обумовлена надзвичайно високою енергією випромінюваних квантів і частинок і здатних проникати вглиб об'єктів, впливаючи на молекули та атоми.

Ю. Одум (американський біолог): Завдання радіоекології полягають у дослідженні дії іонізуючого випромінювання на особини, популяції, спільноти та екосистеми, а також у вивченні міграції радіонуклідів у середовищі проживання.

Радіоекологічні дослідження в даний час спрямовані на вирішення двох завдань:

1. Вивчення дії іонізуючих випромінювань на угруповання макро- та мікроорганізмів, рослин, тварин.

2. Вивчення міграції радіонуклідів у природних біогеоценозах;

Глобальна за своїми масштабами та наслідками аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році поставила перед радіоекологією цілу низку додаткових завдань:

- контроль радіаційної обстановки у природі;
- вивчення міграції радіонуклідів і накопичення їх в окремих природних об'єктах-ґрунтах, донних відкладах, воді, повітрі.

ТЕМА 12

Дозиметрія іонізуючих випромінювань

Дозиметрія іонізуючого випромінювання

Будьяка робота з джерелами іонізуючих випромінювань має бути організована так, щоб знизити опромінення до можливо низького рівня, бажано близького до фонового.

Важливе значення має кількісна оцінка ступеня впливу іонізуючого випромінювання на різні об'єкти, зокрема і на живі організми, а також встановлення безпечних гранично допустимих рівнів опромінення.

Галузь радіоекології, яка встановлює взаємозв'язок величини поглиненої енергії з радіаційним ефектом, називається дозиметрією.

Як галузь науки дозиметрія виникла після відкриття рентгенівських променів та виявлення їх шкідливої біологічної дії на організм людини.

Доза випромінювання

При кількісному дослідженні хімічної та біологічної дії іонізуючих випромінювань необхідно вміти визначати величину поглиненої в системі радіаційної енергії, яка зазвичай називається дозою випромінювання.

Теоретичні основи всіх існуючих способів вимірювання дози випромінювання базуються на вивченні механізму взаємодії випромінювання з речовиною.

Дозиметрія має справу з фізичними величинами A_i , які функціонально пов'язані з радіаційним ефектом η :

$$\eta = F(A_i)$$

Найбільш поширеними дозиметричними величинами є: поглинена доза (D), лінійна передача енергії (L_Δ), еквівалентна доза (H), коефіцієнт якості випромінювання (Q), експозиційна доза (X)

Лінійна передача енергії-ЛПЭ (L_{Δ})

Лінійна передача енергії (L_{Δ}), дорівнює середній енергії dE , що втрачається частинкою при проходженні через середовище з передачею енергії менше Δ , на малому відрізку шляху dx , поділеної на цей відрізок:

$$L_{\Delta} = (dE / dx)_{\Delta}$$

ЯК одиниця ЛПЕ використовується кілоелектровольт на мікрометр води - кев/мкм H_2O .

Вибір води для вимірювання ЛПЕ пов'язаний із тим, що вода становить значну частину маси біологічних об'єктів.

Несприятливий біологічний ефект опромінення значною мірою залежить від процесів, що відбуваються у воді, яка входить до складу організму.

Лінійна передача енергії залежить від складу та щільності речовини, в якій переміщується іонізуюче випромінювання. ЛПЭ є макроскопічною характеристикою якості випромінювання, тобто. його біологічну ефективність.

Поглинена доза

Шкідлива дія іонізуючого випромінювання на організм людини в першу чергу обумовлена поглинанням енергії тканинами

Тому основною величиною в дозиметрії для передбачення або оцінки радіаційного ефекту є поглинена доза D .

Поглинена доза чисельно дорівнює відношенню кількості поглиненої енергії в елементарному об'ємі, до маси речовини, що опромінюється (тканини) в цьому об'ємі:

$$D = \frac{dE_D}{dm} = \frac{dE_D}{\rho dV}$$

В системі СІ (SI – *Système International*) одиницею виміру поглиненої дози є грей (Гр, Gy). 1 Гре́й дорівнює поглиненій дозі іонізуючого випромінювання, при якому речовині масою 1кг передається енергія 1Дж: $1\text{Гр} = 1\text{Дж/кг}$.

Потужність поглиненої дози

Для характеристики розподілу поглиненого випромінювання в часі використовують величину потужності поглиненої дози P .

Відношення прирощення dD поглиненої дози до інтервалу часу dt , за який воно відбувається, називається потужністю поглиненої дози:

$$P_D = \frac{dD}{dt}, \text{ (Дж/кг}\cdot\text{с, Гр/с)}$$

Коефіцієнт якості

Для порівняння біологічних ефектів, що викликаються різними видами випромінювання, введено поняття «відносна біологічна ефективність» (ВБЕ). ВБЕ – це відношення поглиненої дози (D_0) зразкового випромінювання (рентгенівське випромінювання з граничною енергією 200кеВ), що викликає певний біологічний ефект до поглиненої дози даного випромінювання (D_x), що викликає той же біологічний ефект:

$$\text{ВБЕ} = D_0/D_x = Q,$$

Замість ВБЕ МКРЗ (Міжнародний Комітет радіаційного захисту) запровадив поняття коефіцієнта якості випромінювання – Q , що є по суті регламентуючим значенням відносної біологічної ефективності випромінювання.

Коефіцієнт якості функціонально пов'язаний з величинами лінійної передачі енергії: чим більше $L\Delta$, тим вище значення коефіцієнтів якості

Коефіцієнти якості для різних видів випромінювання

№ п/п	Вид випромінювання	Q
1	Рентгенівське γ -випромінювання	1
2	Бета- випромінювання, позитрони, електрони	1
3	Протони з енергій менше 10 MeV	10
4	Нейтрони з енергією ≤ 10 кэВ	5
5	Нейтрони з енергією від 100 кеВ до 2 MeV	20
6	Альфа-випромінювання з енергією менше 10 MeV	20
7	Важкі ядра віддачі	20

Еквівалентна доза – Н

Для оцінки біологічного впливу різних видів іонізуючих випромінювань у радіаційній безпеці запроваджено також поняття еквівалентної дози – Н.

Еквівалентна доза являє собою добуток поглиненої дози на коефіцієнт якості іонізуючого випромінювання в даному елементі об'єму біологічної тканини стандартного складу:

$$H = D \cdot Q$$

За одиницю еквівалентної дози в СІ приймається зіверт (Зв, Sv).

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot Q = 1 (\text{Дж/кг}) Q$$

Зіверт – така кількість енергії будь-якого виду випромінювання, поглиненої 1 кг біологічної тканини, при якому спостерігається такий же біологічний ефект, як і при поглиненій дозі в 1 Гр зразкового рентгенівського або – випромінювання.

Потужність еквівалентної дози

Для характеристики розподілу еквівалентної дози в часі використовують величину потужності еквівалентної дози P .

Відношення прирощення dH еквівалентної дози до інтервалу часу dt , за який воно відбувається, називається потужністю еквівалентної дози:

$$P_H = \frac{dH}{dt}$$

Експозиційна доза

Для характеристики дози по ефекту іонізації застосовують експозиційну дозу фотонного випромінювання.

Експозиційна доза фотонного випромінювання – це відношення сумарного заряду dq всіх іонів одного знака, що виникають у повітрі при повному гальмуванні всіх вторинних електронів і позитронів, утворених фотонами в елементарному об'ємі повітря до маси dm повітря в цьому об'ємі:

$$X = \frac{dq}{dm} = \frac{dq}{\rho dV}$$

За одиницю експозиційної дози у системі СІ прийнято таку дозу, коли всі електрони і позитрони, звільнені фотонами повітря масою 1 кг, утворюють іони, що несуть електричний заряд в 1 кулон кожного знака (Кл/кг).

Співвідношення спеціальної та системної одиниць виміру X

На практиці часто використовується спеціальна одиниця виміру експозиційної дози – рентген (Р).

Співвідношення між Р та Кл/кг наступне:

$$1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{Кл/кг}; 1\text{Кл/кг} = 3876 \text{Р}.$$

Отримане значення набагато перевершує смертельну дозу, що відповідає одноразовому зовнішньому опроміненню всього тіла (600 Р), тому застосування спеціальної одиниці експозиційної дози є більш зручним.

Поглинена доза та експозиційна доза мають різний фізичний зміст. Розмірності їх одиниць також однакові. Зв'язок між поглиненою та експозиційною дозою: 1Кл/кг еквівалентний 38,7 Гр у повітрі або 37,2 Гр у біологічній тканині, 1Гр ~100 Р.

Потужність експозиційної дози

Відношення прирощення експозиційної дози до інтервалу часу dt , за який воно відбувається, називається потужністю експозиційної дози:

$$P_x = (\text{Кл/кг}\cdot\text{с})$$

За наявністю точкового джерела γ -випромінювання певної інтенсивності експозиційна доза лінійно зростає з часом експозиції (t).

Крім того, доза зменшується пропорційно квадрату відстані (R^2) від джерела випромінювання і пропорційна активності випромінювача A , коефіцієнт пропорційності K_γ (гамма-постійна).

$$X = K_\gamma \frac{At}{R^2}$$

Поняття «експозиційна доза» запроваджено лише для фотонного випромінювання з енергією $1\text{кВ} - 3\text{Мев}$.

ТЕМА 13

Радіаційний моніторинг і принципи його організації

- Законодавством України гарантується безпека життєдіяльності кожного громадянина
- Радіаційна компонента є однією з її складових

Моніторинг довкілля

Моніторинг – процес відстеження стану об'єкта (системи або складного явища) за допомогою безперервного або періодично повторюваного збору даних, що є сукупністю певних ключових показників.

Використання Моніторингу дозволяє відстежувати стан об'єктів, що контролюються, що дає можливість мати достовірну оперативну інформацію про їх дійсне становище та прогнозувати тенденції його розвитку.

Термін «екологічний моніторинг» уперше з'явився у рекомендаціях спеціальної комісії SKOPE (науковий комітет з проблем навколишнього середовища) при ЮНЕСКО у 1971 р., а у 1972 р. вже з'явилися перші пропозиції щодо створення Глобальної (БІОСФЕРНОЇ) системи моніторингу навколишнього середовища (Стокгольмська конференція ООН) з навколишнього середовища).

Екологічний моніторинг

Під екологічним моніторингом слід розуміти організований моніторинг навколишнього природного середовища, за якого:

по-перше, забезпечується постійна оцінка екологічних умов довкілля людини та біологічних об'єктів (рослин, тварин, мікроорганізмів і т. д.), а також оцінка стану та функціональної цінності екосистем;

по-друге, створюються умови для визначення коригувальних впливів у тих випадках, коли цільові показники екологічних умов не досягаються.

Радіаційний моніторинг

Законодавством України гарантується безпека життєдіяльності кожного громадянина.

Радіаційна компонента є однією з її складових.

Під радіаційним моніторингом розуміються:

- 1. Систематичні спостереження (у просторі та часі) шляхом вимірювання активності радіонуклідів та іонізуючих випромінювань в об'єктах навколишнього середовища та тілі людини,**
- 2. Накопичення та інтерпретацію отриманих даних з метою прогнозу розвитку радіаційної ситуації та прийняття адміністративних рішень щодо захисту людини відповідно до чинних норм радіаційної безпеки.**

Радіаційний моніторинг

Радіаційний моніторинг – це не просто деяка інформаційна система, а – ключовий елемент протирадіаційного захисту населення країни.

Доза є єдиним критерієм можливого негативного впливу іонізуючих випромінювань на здоров'я, тому всі дії щодо протирадіаційного захисту людини спрямовані безпосередньо на збереження її здоров'я.

З цієї точки зору не тільки система моніторингу в цілому, а й функціонування кожної її ланки має бути підпорядковане основній меті – протирадіаційному захисту людини.

Для досягнення цієї мети система радіаційного моніторингу має бути організована на основі наступних принципів:

Принципи організації радіаційного моніторингу

- 1. Безумовність пріоритету здоров'я людини у діяльності всіх елементів системи радіаційного моніторингу як найважливішої умови її здійснення на території країни;**
- 2. Необхідність та затребуваність результатів моніторингу;**
- 3. Забезпечення гарантованої якості результатів моніторингу та єдності методичних підходів щодо отримання та інтерпретації результатів вимірювань;**
- 4. Достатність обсягів моніторингу як за кількістю, так і за якістю результатів;**
- 5. Оптимальність моніторингу, що означає отримання надійних та точних результатів ціною найменших витрат;**
- 6. Доступність даних радіаційного моніторингу для фахівців різних галузей господарства та населення загалом;**
- 7. Відкритість для суспільства даних щодо якості роботи радіаційно небезпечних об'єктів стосовно чинних норм радіаційної безпеки.**

ТЕМА 14

**Джерела опромінення
людини іонізуюю радіацією**

Джерела опромінювання людини іонізуючою радіацією

На живі організми у зовнішньому середовищі можуть одночасно діяти кілька джерел опромінення:

- 1. Природне випромінювання**
- 2. Випромінювання від штучних радіонуклідів**
- 3. Випромінювання від джерел, що застосовуються в медицині**
- 4. Професійне опромінення**

Перші два види джерел стосуються опромінення всього живого. Два останні – лише людину.

Опромінення за критерієм розташування джерел випромінювання ділиться на зовнішнє і внутрішнє.

Зовнішнє опромінення обумовлено джерелами, розташованими поза організмом людини. Це вплив іонізуючого випромінювання, що приходить ззовні.

Джерелом внутрішнього опромінення є радіонукліди, що знаходяться в організмі людини, що потрапляють із повітрям, їжею та водою всередину організму.

1. Природний радіаційний фон

Природне випромінювання є звичайною складовою біосфери, екологічним фактором, що впливає на все живе і утворює так зване природний радіаційний фон Землі. Природний радіаційний фон створює фонове опромінення людини.

Природний радіаційний фон визначається космічним випромінюванням та випромінюванням від природних радіонуклідів K-40, U-238, U-235 та Th-232 та продуктів їх розпаду, що знаходяться у навколишньому середовищі.

Природний радіаційний фон може використовуватися як еталонний рівень для оцінки відносної небезпеки додаткового опромінення.

Це рівень свідомо безпечного щоденного опромінення, тому що в результаті природного відбору людина до нього пристосувалася.

1.1. Опромінення космічним випромінюванням

Космічне випромінювання поділяється на:

Первинне та вторинне.

1. Первинне космічне випромінювання – це високоенергетичне випромінювання, що складається із заряджених частинок високої енергії, що надходять з космічного простору

(альфа-частинки – 10% і протони – 90%).

У свою чергу воно поділяється на 2 підгрупи.

а). У першу підгрупу входить первинне галактичне космічне випромінювання, що випромінюється Сонцем (сонячне космічне випромінювання);

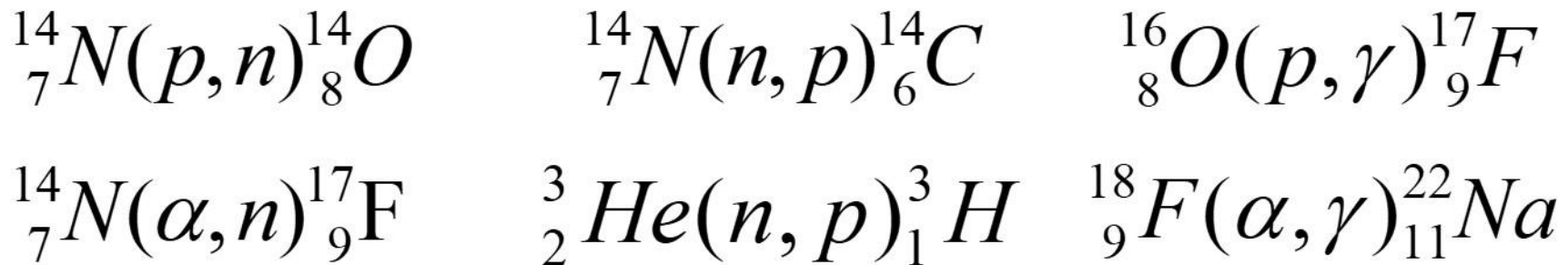
б). У другу підгрупу входить випромінювання заряджених частинок, захоплених магнітним полем Землі та утворюють так звані радіаційні пояси

1.2. Вторинне космічне випромінювання. Космогенні радіонукліди

2. Вторинне космічне випромінювання утворюється в результаті взаємодії первинного космічного випромінювання з речовиною атмосфери.

Це призводить до утворення вторинних частинок (протонів, нейтронів, мезонів та електромагнітного випромінювання).

При цих реакціях утворюється велика кількість космогенних радіонуклідів: ^3H , ^{17}F , ^{14}C , ^{22}Na



Чинники, що впливають на опромінення космічним випромінюванням

Інтенсивність космічного випромінювання залежить:

- 1. Від сонячної активності.**
- 2. Географічного розташування об'єкта.**

У верхніх шарах атмосфери найбільш важливу роль у дозоутворенні грають протони і нейтрони, а на невеликих висотах в атмосфері іони (основне джерело іонізації).

Випромінювання зростає з висотою над рівнем моря.

Для середніх широт лише на рівні моря доза на відкритій місцевості на м'які тканини внаслідок космічного випромінювання становить: 280мкЗв/рі.

Нейтронна компонента дає додаткову дозу 3,5 мкЗв/рік.

Усього ефективна еквівалентна доза космічного випромінювання становить приблизно 300 мкЗв на рік.

1.3. Зовнішнє опромінення від природних радіонуклідів

Зовнішнє опромінення людини від природних радіонуклідів поза приміщеннями обумовлено присутністю в об'єктах зовнішнього середовища (ґрунті, повітрі, воді) гамма-випромінюючих природних радіонуклідів.

У біосфері Землі міститься близько 70 природних радіонуклідів, які можна розділити на 2 категорії: первинні та космогенні.

1. Первинні радіонукліди поділені на дві групи.

Перша група – уран-238, уран-235, торій-232 разом із продуктами їхнього розпаду.

Друга група- це радіонукліди, що не створюють радіоактивних сімейств: К-40, Rb-87 та ін. і мають великі періоди напіврозпаду

2. Космогенні радіонукліди утворюються в основному в атмосфері, а потім надходять на земну поверхню з атмосферними опадами.

Основними космогенними радіонуклідами – джерелами зовнішнього опромінення – є Н-3, F-17, Be-7, Na-22 та Na-24.

Середня а доза зовнішнього опромінення, обумовлена природними радіонуклідами становить 320 мкЗв/рік.

1.4 Внутрішнє опромінення від космогенних радіонуклідів

Внутрішнє опромінення людини від космогенних радіонуклідів створюється радіонуклідами, що потрапляють із повітрям, їжею та водою всередину організму.

Серед космогенних радіонуклідів, як джерел внутрішнього опромінення, найбільший внесок роблять H-3, Be-7, C-14 і Na-22 (табл. 1).

1.4. Внутрішнє опромінення від космогенних радіонуклідів

Доросла людина споживає з їжею 95 кг вуглецю на рік за середньої активності на одиницю маси вуглецю 230 Бк/кг. Сумарний внесок космогенних радіонуклідів в індивідуальну дозу становить близько 13 мкЗв/рік.

Таблиця 1

Радіонуклід	Надходження, Бк/рік	Річна ефективна доза, мкЗв
^3H	250	0.004
^7Be	50	0.002
^{14}C	20000	12
^{22}Na	50	0.15

1.5. Внутрішнє опромінення від природних радіонуклідів земного походження

Джерелами внутрішнього опромінення являються такі природні радіонукліди: K-40, U-238, U-235 та Th-232 та продукти їхнього розпаду.

У середньому людина отримує близько 180 мкЗв/рік за рахунок K-40, який засвоюється організмом разом із нерадіоактивним калієм.

Проте значно більшу дозу внутрішнього опромінення людина отримує від природного урану та продуктів його розпаду.

Уран та продукти його розпаду містяться у пилу та золі електростанцій, а потім попадає в повітря, воду, рослини і в організм людини.

Основне депо всього урану, що відкладається у тілі людини – кістки (понад 90%).

Дозові навантаження від урану в кістках становлять близько 4мкЗв/рік. Th-232 та продукти його розпаду вносять незначний вклад к у дозу опромінення (табл. 2).

Середньорічна ефективна еквівалентна доза внутрішнього опромінення від природних радіонуклідів земного походження.

Таблиця 2

Радіонуклід, тип випромінювання	Період напіврозпаду	Середньорічна ефективна еквівалентна доза мкЗв
^{40}K (β , γ)	$1.4 \cdot 10^9$ років	180
^{87}Rb (β)	$4.7 \cdot 10^{10}$ років	6
^{210}Po (α , γ)	138 діб	130
^{220}Rn (α , γ)	55.3 с	170 – 220
^{222}Rn (α , γ)	3.8 доби	800 – 1000
^{226}Ra (α , γ)	1620 років	13

Опромінення радоном

Як видно з таблиці 2 найбільш вагомим із усіх джерел внутрішнього опромінення від природної радіації є невидимий, не має смаку і запаху важкий газ (у 7,5 разів важчий за повітря) – радон.

Згідно з поточною оцінкою НКДАР ООН (Науковий комітет з дії атомної радіації) радон разом зі своїми дочірніми продуктами радіоактивного розпаду відповідає приблизно за 3/4 річний індивідуальної ефективної еквівалентної дози опромінення, одержуваної населенням від земних джерел радіації.

Більшу частину цієї дози людина отримує від радону та, продуктів його розпаду що потрапляють у його організм разом із повітрям, що вдихається, особливо в непровітрюваних приміщеннях (рис.).

Частка радону в опроміненні людини



1.6.Технологічно змінений природний радіаційний фон

Технологічно змінений природний радіаційний фон – це випромінювання від природних джерел іонізуючого випромінювання (природних радіонуклідів та космічного випромінювання), що виникло в результаті господарської діяльності людини, а саме:

- 1. Використання будівельних матеріалів із підвищеним вмістом природних радіонуклідів;**
- 2. Спалювання викопного палива, насамперед вугілля;**
- 3. Робота підприємств ядерного паливного циклу (видобуток урану та виготовлення ТВЕЛ)**
- 4. Застосування добрив, які містять природні радіонукліди;**
- 5. Використання авіатранспорту для перевезення пасажирів;**
- 6. Застосування пристроїв, що містять природні радіонукліди.**

Технологічно змінений природне радіаційний фон

1. Щорічно спалюється близько 3 млн тонн вугілля.

У золі міститься в середньому така радіоактивність, Бк/кг: К- 40-265, U- 238 - 200, Ra-226 - 240, Pb-210 - 930, Po-210 - 1700, Th -232- 70, Ra-228 - 13.

2. Опромінення від роботи підприємств ядерного циклу (видобуток урану та виготовлення ТВЕЛ)а.

Основним джерелом радіоактивного забруднення довкілля на стадії видобутку уранової руди є газоподібний Rn-222.

Згідно з проведеними дослідженнями на 1т руди, що добувається в середньому утворюється до $8 \cdot 10^9$ Бк Rn-222.

Джерелом радіоактивного забруднення є відходи, що утворюються під час переробки руди.

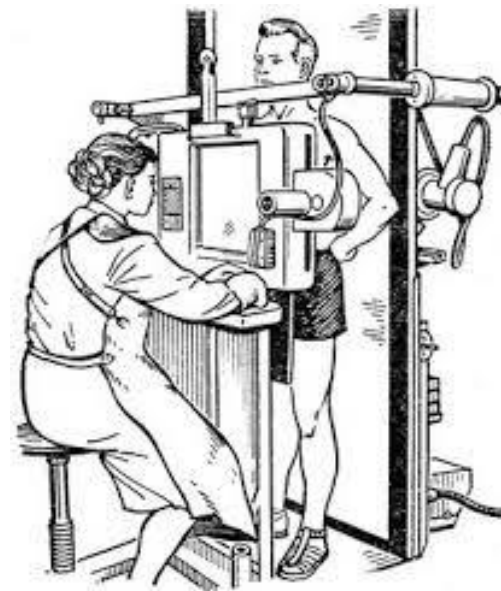
3. Фосфорні добрива, отримані з кольського апатиту, містять до 70 Бк/кг Ra- 226 та U -238, фосфорити містять 400 Бк/кг.

4. Додаткове опромінення отримує людина при польоті літаком: на висоті 11 – 12 км – 5 мкЗв/год, на висоті 20 км – 13 мкЗв/год. За рейс отримана доза становить приблизно 40 мкЗв (4 мР).

Середня питома радіоактивність будівельних матеріалів (Бк Ra и Th/кг)

Матеріал	Вміст радіонуклідів Ra + Th (Бк/кг)	Країна
Деревина	1,1	Фінляндія
Природний гіпс	29	Великобританія
Пісок та гравій	34	ФРГ
Портланд – цемент	45	ФРГ
Цегла	126	ФРГ
Граніт	170	Великобританія
Зольний пил	341	ФРГ
Глинозем	496	Швеція
Фосфогіпс	574	ФРГ
Кальцій – силікатний шлак	2140	США
Відходи уранових збагачувальних фабрик	<u>4625</u>	США

2.Опромінення від штучних джерел радіації



2. Опромінення від штучних джерел радіації

1. Опромінення від роботи атомної електростанції (АЕС).

Джерелом опромінення, навколо якого ведуться найінтенсивніші суперечки, є атомні електростанції.

При нормальній роботі – АЕС екологічно чистіші, ніж теплові станції.

Перевага атомної енергетики полягає в тому, що вона вимагає суттєво менших кількостей вихідної сировини та земельних площ, ніж теплові станції.

Атомні станції працюють у 32 країні світу. Всього процюють 438 енергоблоків.

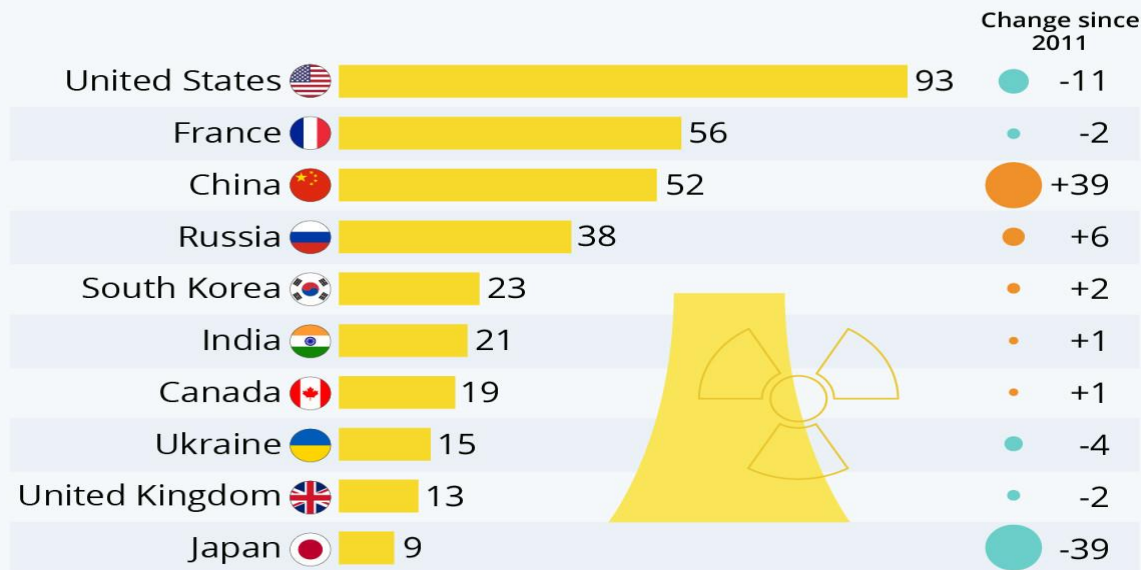
Збираються вступити до клубу мирного атома ще ціла низка країн (Білорусія, Єгипет, Венесуела, Туреччина та Казахстан).

Збільшити кількість атомних енергоблоків у найближчому майбутньому збираються Угорщина, Вірменія, Бразилія та Фінляндія, Китай.

Світова атомна енергетика у 2021 році

The Countries With the Most Nuclear Reactors

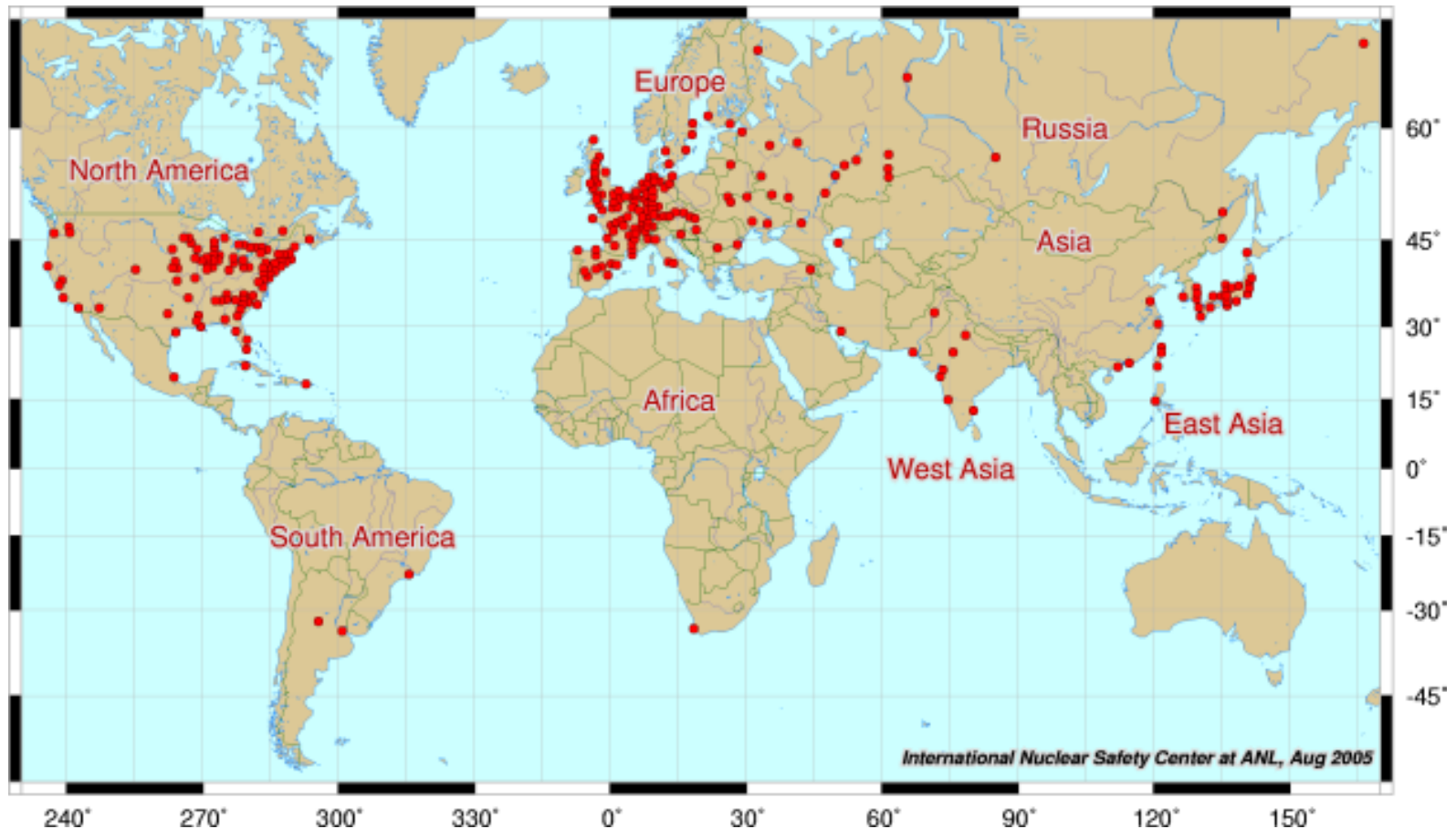
Number of operational reactor units by country in 2021



Source: World Nuclear Industry Status Report 2021



Географія розташування атомних станцій



2.1. Опромінення від викидів АЕС

На АЕС два джерела радіоактивних речовин:

1. Розподіл ядер U-233, U-235 та Pu-239.
2. Активація нейтронами різних матеріалів (конструкційних матеріалів, домішки теплоносії).

Більшість цих речовин короткоживучі радіонукліди.

Вони впливають на формування радіоактивної обстановки всередині будівлі АЕС.

До радіоактивного забруднення середовища може призвести вихід радіонуклідів, період напіврозпаду яких більше кількох хвилин або годин. Це радіоактивні благородні гази: Хе-133-138, Kr-85 і Ar-41, а також К-40, С-14, N-16, S-35.

При нормальному режимі роботи АЕС здійснюється значна тимчасова затримка виходу радіонуклідів на всіх основних ступенях цього циклу.

Середня індивідуальна еквівалентна доза опромінення всієї Земної кулі, яка обумовлена діяльністю підприємствами ЯПЦ за біологічно значущих радіонуклідів (Kr-85, H-3, C-14, I-129) становить не більше 1 мкЗв/рік.

2.2. Радіоактивні відходи

Навіть якщо АЕС працює ідеально і без будь-яких збоїв, її експлуатація неминуче веде до накопичення радіоактивних речовин – продуктів ядерного поділу.

При переробці опроміненого ядерного палива з нього вилучаються уран та плутоній для повторного використання в ядерних реакторах, а також деякі довгоживучі радіонукліди та стабільні елементи, які можуть бути використані з господарською та науковою метою.

Решта продуктів поділу є високорадіоактивними відходами.

Після відповідної обробки їх спрямовують на заховання.

У деяких випадках відпрацьовані ТВЕЛИ відправляють на захоховання без переробки та вилучення урану та плутонію.

2.2.1., 2.2.2. Радіоактивні відходи (газоподібні та тверді)

Радіоактивні відходи (РАВ) АЕС – це речовини, що містять радіонукліди в кількості, що перевищує встановлені чинними нормами і правилами і непридатні для подальшого використання.

РАВ поділяються на: газоподібні, тверді та рідкі.

2.2.1. До газоподібних радіоактивних відходів відносяться радіоактивні благородні гази Kr- 85-88, Xe- 133-138 продукти поділу Pu 239 – та U- 235 відповідно та Ar- 33-41 – продукт нейтронної активації конструкційних матеріалів.

Крім цього існує ціла низка радіонуклідів, що надходять в атмосферу у вигляді аерозолів.

2.2.2. До твердих радіоактивних відходів відносять: відпрацьоване технологічне обладнання та матеріали; спецодяг, будівельне сміття, якщо потужність дози на відстані 0,1 м від поверхні становить 1 мкЗв/ час (100 мкР/час), питома α - і β -активність – 0,2 и 2 мкКи/кг відповідно.

2.2.3. Радіоактивні відходи (рідкі)

2.2.3. Рідкими радіоактивними відходами є організовані та неорганізовані протікання радіоактивного теплоносія з технологічного обладнання, а також води спецпралень, санпропускників, басейнів витримки відпрацьованих ТВЕЛів.

Для зменшення радіоактивності рідких РАВ їх піддають дезактивації.

З цією метою використовують такі методи як упарювання, дистиляція, співосадження, сорбція та коагуляція.

Внаслідок дезактивації практично вся радіоактивність концентрується в малому обсязі, що полегшує процедуру захоронення радіоактивних відходів.

2.3. Аварії на АЕС.

Міжнародна відносна шкала ядерних подій ІНЕС

Особливу небезпеку для довкілля та здоров'я людини становлять аварії на АЕС та підприємствах ЯТЦ, у яких відбувається викид значних активностей радіонуклідів.

Для оцінки безпеки будь-яких подій, що відбуваються у сфері використання джерел іонізуючих випромінювань, застосовується Міжнародна відносна шкала ядерних подій ІНЕС.

У рамках цієї шкали всі позаштатні події на ядерних об'єктах (насамперед на АЕС) оцінюються за 8-бальною шкалою

Нині з урахуванням міжнародної шкали ядерних подій розробляються оціночні системи.

У цих системах враховується не лише рівень події, а й завдані цією подією економічні та екологічні збитки, втрачена вигода, довгострокові соціально-економічні та санітарно-гігієнічні наслідки.

Як приклад класифікації ядерних подій являється Аварія 26 квітня 1986 року на Чорнобильській АЕС, яка призвела до великомасштабних впливів на довкілля та здоров'я людей віднесена до 7 рівня.

Міжнародна відносна шкала ядерних подій ІНЕС



2.3. Аварії на АЕС

Великі аварії на атомних установках виникають порівняно рідко.

Проте їхній емоційний вплив на населення важко переоцінити.

Слід наголосити, що промисловий реактор не може за будь-яких обставин просто вибухнути подібно до ядерної бомби.

Найбільш значними аваріями є аварії:

- 28 березня 1979 р. сталася аварія на АЕС Три-Майл-Айленд (Трьохмильний острів, штат Пенсільванія вважається найбільшою ядерною аварією в США).

- Чорнобильська аварія (Україна)

26 квітня 1986 р. на Чорнобильській АЕС, під час випробувань реактор перейшов у важкокерований стан, що призвело до теплового вибуху величезної сили. Вибух призвів до викиду великих кількостей радіоактивних речовин.

- Аварія на АЕС Фукусіма-1 (Японія)

11 березня 2011 року в Японії стався найпотужніший за всю історію країни землетрус. В результаті на АЕС Фукусіма-1 - внаслідок відключення системи охолодження розплавилася ядерне паливо, що призвело до витіку витіку радіоактивних речовин.

Такі катастрофи супроводжуються порівняно невеликою кількістю жертв, які загинули протягом кількох тижнів після аварії.

Отже, головні компоненти збитків таких аварій – соціальні та економічні втрати.

Чорнобиль

У ніч з 25 на 26 квітня 1986 р. на чорнобильській АЕС, сталася найбільша у світовій історії аварія, що спричинила тяжкі наслідки для людей і навколишнього природи.

Аварія сталася на четвертому блоці під час проведення проектних випробувань однією із систем забезпечення безпеки, що входить до складу енергоблоку реактора типу РБМК-1000.

Випробування виявили серйозні прорахунки у конструкції реактора. В результаті на момент повного виведення на режим випробувань реактор перебував у нестійкому, важкокерованому стані. Відбулися два потужні вибухи з руйнуванням частини реакторного блоку та машинного залу, що спричинили виникнення пожежі та викид в атмосферу радіоактивних речовин.

Сумарний викид продуктів розподілу під час аварії на ЧАЕС становив близько 2.10^{18} Бк (5.10^7 Кюрі). Загинули 31 особа, 200 людей померли від променевої хвороби. Сталося забруднення за цезієм-137 понад 130 тис. км² Росії, Білорусії, України. Аварія на 4-му блоці Чорнобильської АЕС суттєво вплинула на темпи розвитку атомної енергетики, викликала гострі напади радіофобії та атомної ідеосинкразії практично у всіх країнах світу.

Зруйнований 4 блок Чорнобильської АЕС



Заражена техніка, кинута в котловані могильника «Буряківка» перед тим, як її буде засипано шаром землі, за 15 км від вибуху чорнобильського реактора.



Вибух на АЕС «Фукусіма-1»



2.4. Аварійні викиди підприємств ядерного паливного циклу (ЯПЦ)

За період з 1944 по 2015 роки в 15 країнах світу мали місце 157 радіаційних інцидентів або аварій різного ступеня складності та з різними наслідками для людей та навколишнього середовища:

1 вересня 1944 р. у США, штат Теннесі, в Ок-Ріджській національній лабораторії при спробі прочистити трубу в лабораторному пристрої зі збагачення урану стався вибух гексафториду урану, що призвело до утворення небезпечної речовини – гідрофтористої кислоти

3 березня 1949 р. у Челябінській області внаслідок масового скидання комбінатом «Маяк» у річку Теча високоактивних рідких радіоактивних відходів опромінення зазнали близько 124 тисяч осіб у 41 населеному пункті.

10 жовтня 1957 р. – у Віндскейлі (Велика Британія) на заводі з виробництва плутонію. Загалом згоріло близько 11 тонн урану. Радіоактивні опади забруднили великі області Англії та Ірландії; радіоактивна хмара досягла Бельгії, Данії, Німеччини, Норвегії. Експозиційна доза зовнішнього опромінення внаслідок аварії становила 0.30–0.50 мГр.

29 вересня 1957 р. сталася аварія, що отримала назву «Киштимська» на заводі з переробки ядерного палива на підприємстві «Маяк» (СРСР) Радіонукліди розсіялися і осіли на території Челябінської, Свердловської та Тюменської областей. Довжина радіоактивного сліду сягнула 200 км, ширина 8–9 км. Завдяки щасливому випадку, слід пройшов малонаселеною місцевістю.

2.5. Опромінення від випробувань ядерної зброї

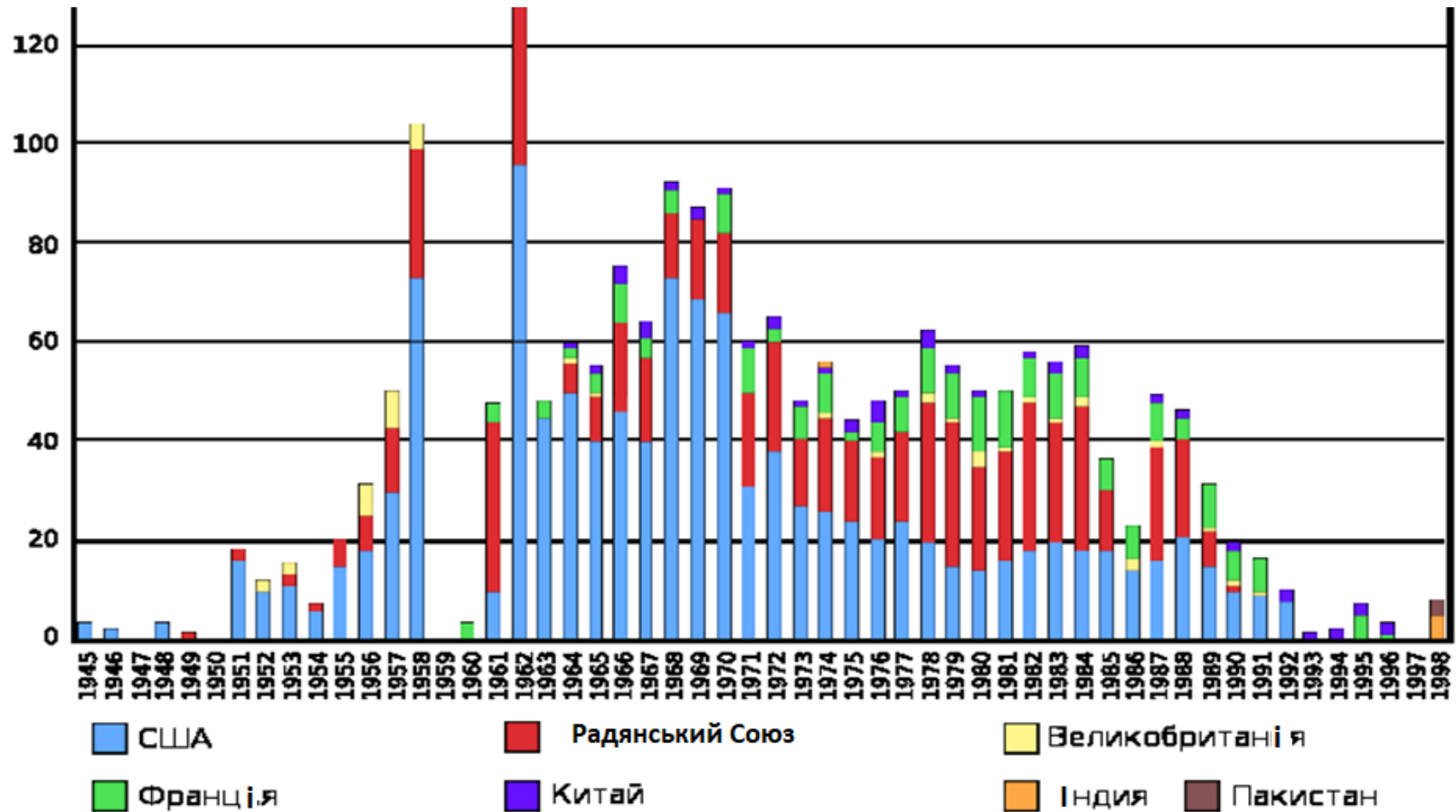
Випробування ядерної зброї, що особливо інтенсивно проводилися в період 1954–1958 та 1961–1962 рр. стали однією з основних причин підвищення радіаційного фону Землі та, як наслідок цього, глобального підвищення доз зовнішнього та внутрішнього опромінення населення.

У США, СРСР, Франції, Великобританії та Китаї проведено не менше 2060 випробувань атомних та термоядерних зарядів в атмосфері, під водою та в надрах Землі, з них безпосередньо в атмосфері 501 випробування.

Після укладання 1963г. міжнародного Договору про заборону випробувань ядерної зброї в трьох середовищах дози, одержувані населенням, знизилися з відносно високих рівнів на початку 60-х років до низьких рівнів у наші дні.

Глобальна середньорічна доза в даний час становить 6 мкЗв. Однак у випадках, коли випробування проводилися лише на рівні земної поверхні чи навіть під землею, біля полігонів часто зберігається локалізоване забруднення.

Випробування ядерної зброї



3. Джерела радіації, які застосовуються в медицині

Використання іонізуючих випромінювань та радіоактивних речовин у медицині для діагностики та радіотерапії є основним джерелом штучного опромінення людини, що перевищує вплив усіх інших штучних джерел.

1. Рентгенодіагностика.

Одне з найстаріших та найпоширеніших діагностичних застосувань-це рентгенодіагностика. Цінність цього методу дуже висока - щорічно проводяться мільйони рентгенологічних досліджень.

В результаті одного рентгенологічного дослідження грудної клітки пацієнт отримує дозу випромінювання 0,2 мЗв (20 мР).

Доза опромінення кісткового мозку при рентгенографії зубів може становити: у черепі – від 60 до 130 мкЗв, у нижній щелепі – від 140 до 850 мкЗв та у шийних хребцях – від 24 до 1160 мкЗв.

2. Метод ядерної медицини.

У разі деяких захворювань діагностичну інформацію можна отримати з використанням гамма-променів, що випускаються радіоактивними речовинами, які вводяться в організм пацієнта шляхом ін'єкції, внаслідок заковтування чи вдихання.

3. Радіотерапія.

Поглинена доза в з метою терапії в органі дуже велика і зазвичай становить 20–60 Гр за кілька сеансів.

4. Професійне опромінення

Професійне опромінення стосується: працівників ядерної промисловості та енергетики, лікарів-рентгенологів та радіологів, льотного складу цивільної авіації.

За оцінками НКДАР, чисельність персоналу, що піддається впливу штучного випромінювання в результаті роботи з джерелами іонізуючих випромінювань становить 4 мільйони осіб.

Середньорічна доза, що одержують працівники складає приблизно дорівнює 1 мЗв.

Ще 5 мільйонів осіб, головним чином у цивільній авіації, отримує середньорічну дозу від природного випромінювання близько 1,7 мЗв.:

Середньорічні дози, що отримуються від природного радіаційного фону та різних штучних джерел випромінювання

№ п/п	Джерело випромінювання	Доза, мЗв/рікд
1	Природний радіаційний фон	2.00
2	Будівельні матеріали	1.40
3	Атомна енергетика	0.002
4	Медичні дослідження	1.40
5	Ядерні випробування	0.025
6	Польоти в літаках	0.005
7	Побутові предмети	0.04
8	Телевізори та монітори ЕВМ	0.001
9	Загальна доза	5.00

Порівняльний аналіз

Відповідно до таблиці, перелічені джерела радіації підвищують опроміненість людства на $1/3$ природного тла.

У той же час на Земній кулі є регіони, де рівень природної радіації в кілька разів вищий за звичайне фонове опромінення.

Радіобіологічні науки не мають в даний час достовірних відомостей про будь-які відхилення від норми в розвитку живих організмів в результаті дії природного радіаційного фону.

Виходячи з матеріалів експертів НКДАР, навіть аварія на ЧАЕС незначно підвищила колективну дозу опромінення населення європейської частини території країн СНГ.

Чинники, що загрожують здоров'ю та життю людини	Число випадків з летальним результатом на рік у США
Куріння	150 000
Вживання спиртних напоїв	100 000
Автомобілі	50 000
Вогнепальна зброя	17 000
Електрика	14 000
Мотоцикли	3000
Плавання	3000
Хірургічне втручання	2800
Рентгенівське опромінення	2300
Залізниці	1 950
Велосипеди	1 000
Охота	800
Побутові травми	200
Робота в поліції	160
Громадянська авіація	130
Атомна енергетика	100
Альпінізм	30
Лижі	18



ТЕМА 15

Біологічна дія іонізуючих випромінювань

Біологічна дія іонізуючого випромінювання

Життя на Землі виникло і розвивалося і натомість іонізуючої радіації. Тому біологічна дія її не є якимось новим подразником у межах природного радіаційного тла.

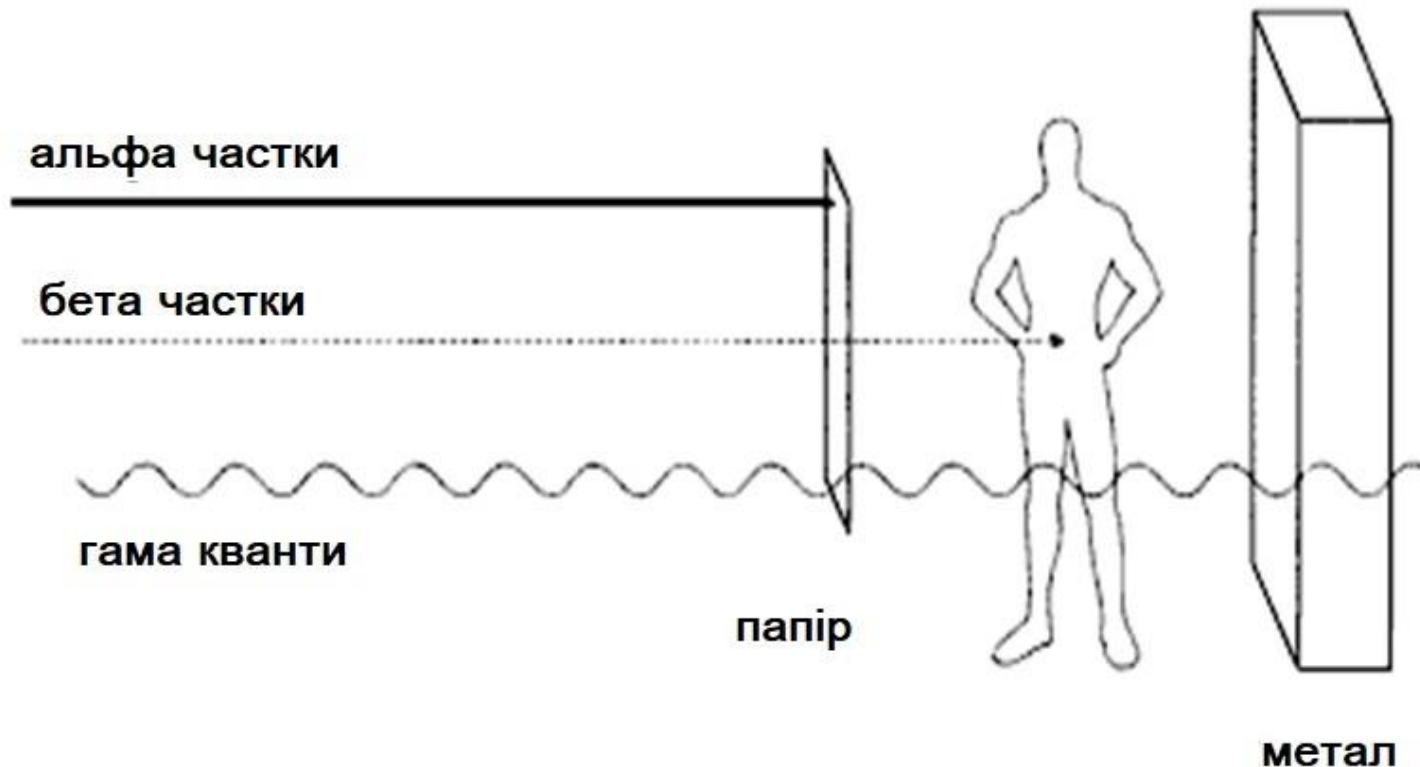
Однак у зв'язку з активним використанням джерел іонізуючої радіації в різних сферах діяльності людини виникла загроза впливу на живий організм підвищених доз радіації.

До теперішнього часу накопичено великий обсяг знань про біологічну дію іонізуючих випромінювань на тварини та рослинні організми.

Чітко виявлено особливості реакцій організму залежно від поглинених доз, умов та локалізації радіаційних впливів.

Види випромінювань та їх проникаюча здатність

Різні види випромінювань характеризуються різною біологічною ефективністю, що пов'язано з відмінностями в їх проникаючій здатності та характером передачі енергії органам та тканинам живого об'єкта.



Види випромінювань, їх проникаюча здатність

Пробіг альфа-частинок з енергією 4 Мев у повітрі становить 2.5 см, а в біологічній тканині лише 31 мкм.

Альфа-випромінюючі нукліди становлять велику небезпеку при надходженні всередину організму через органи дихання та травлення, відкриті рани та опікові поверхні.

Бета-випромінювання має більшу проникаючу здатність ніж альфа-частинки.

Пробіг бета-частинок у повітрі може досягати кількох метрів, а в біологічній тканині кількох сантиметрів.

Так пробіг електронів з енергією 4 Мев у повітрі становить 17.8 м, а в біологічній тканині 2.6 см.

Гамма-випромінювання має малу іонізуючу здатність, але має високу проникаючу здатність.

Під його дією відбувається опромінення всього організму.

Дози іонізуючого випромінювання

Механізм впливу іонізуючих випромінювань на організм людини залежить від дози.

Розрізняють – малі, низькі, проміжні, високі та надвисокі дози для різних видів випромінювання:

- малими вважаються дози, які складають природний радіаційний фон $(0.7 - 2.0) \cdot 10^{-3}$ Гр (0,07 – 0,2 Р)
- низькими вважаються дози, які є меншими 0,2 Гр (20 Р)
- проміжними – 0,2 – 1,5 Гр (20 – 150 Р)
- високими – 1,5 – 3,5 Гр (150 – 350 Р)
- дуже високими – більше 3,5 Гр (350 Р)

Вплив різних доз опромінення на організм людини

Доза, Гр	Причина та результат впливу
$(0.7 - 2) 10^{-3}$	Доза від природних джерел на рік
0.05	Гранично допустима доза професійного опромінення на рік
0.1	Рівень подвоєння ймовірності генних мутацій
0.25	Одноразова доза виправданого ризику у надзвичайних обставинах
1.0	Доза виникнення гострої променевої хвороби
3 – 5	Без лікування 50% опромінених помирає протягом 1–2 місяців унаслідок порушення діяльності клітин кісткового мозку
10 – 50	Смерть настає через 1–2 тижні внаслідок уражень головним чином шлунково-кишкового тракту
100	Смерть настає за кілька годин чи днів внаслідок пошкодження центральної нервової системи
Понад 100	Смерть настає під час опромінення, т. зв. «смерть під променем»

Біологічна дія природного радіаційного фону

При оцінці радіаційної безпеки населення, за малі дози приймають рівень природного радіаційного фону.

Біологічну ефективність природного радіаційного фону оцінюють за віддаленими для здоров'я людини наслідками.

Встановлено, що тривале опромінення населення протягом усього життя в дозах менше 1 Р (0,01 Гр) на тиждень не викликало скорочення тривалості життя.

Не було виявлено достовірного виникнення генетичних змін.

Існує оптимальний рівень природного радіаційного фону, підвищення та зниження якого призводить до обмеження життєдіяльності організмів.

Ефекти опромінення

Ефекти опромінення біологічних систем дуже відрізняються за рівнем реалізації, формою прояву, а також за часом їх здійснення, який варіює від мільйонних часток секунди до багатьох десятків років.

Радіобіологічний ефект ЦЕ відповідь живої клітини чи організму на опромінення.

Біологічна дія іонізуючого випромінювання умовно можна поділити на кілька етапів:

1. Первинні радіаційно-фізичні та радіаційно-хімічні процеси що виникають у молекулах живих клітин і навколишньому їх біосубстраті.

2. Вторинні процеси – пошкодження окремих клітин та порушення функцій цілого організму як наслідок первинних процесів.

Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною, у тому числі й біологічним об'єктом, починається з поглинання енергії іонізуючого випромінювання (процес чисто фізичний і триває 10^{-18} – 10^{-15} , с (Таблиця)).

Стадії радіобіологічних процесів

Тип процесу	Час протікання	Основні процеси
Радіаційно-фізичний	10^{-18} - 10^{-15} , с	Поглинання енергії іонізуючого випромінювання
Радіаційно-хімічний	10^{-15} - 10^{-8} , с	Іонізація, утворення вільних радикалів та кисню
Хімічний	10^{-8} - 10^{-4} , с	Утворення первинних пошкоджень ДНК(Розриви зв'язків внаслідок реакції з вільними радикалами)
Клітинні	Хвилини години	Перебудова мембранної системи. Загибель клітин або зміна їх властивостей у результаті мутацій
Соматичні	Дні роки	Порушення цілісності організму
Генетичні	Багато десятиліть	Формування мутацій

Первинні радіаційно-хімічні процеси

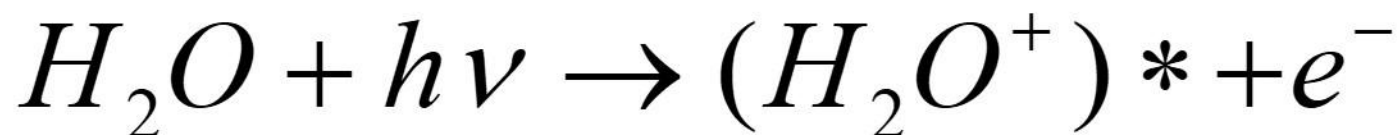
Оскільки в людини (і ссавців) основну частину маси тіла становить вода (близько 75%), первинні радіаційно-хімічні процеси багато в чому визначаються поглинанням випромінювання водою клітин (схеми).

Поглинання енергії іонізуючих випромінювань водою супроводжується процесами іонізації та збудження молекул води, утворенням високоактивних у хімічному відношенні вільних радикалів типу OH та H та наступними каталітичними реакціями (переважно окисненням цими радикалами молекул білка).

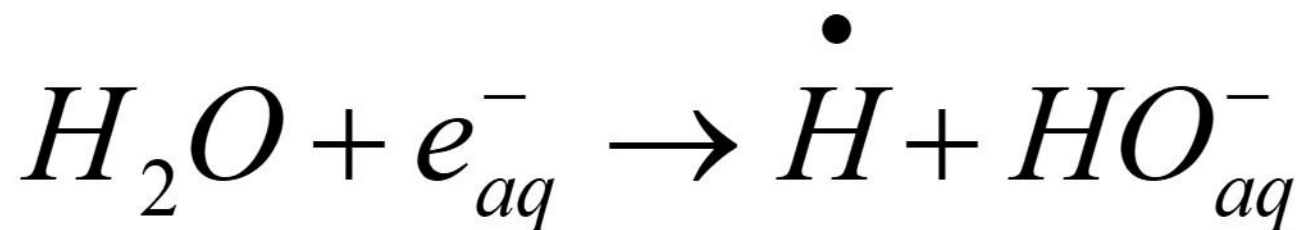
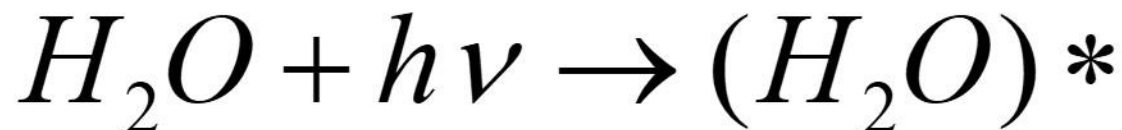
Тривалість процесів, що завершуються появою всередині клітин м'якої біологічної тканини продуктів з високою хімічною активністю, не перевищує 10^{-6} с, отже, вони закінчуються під час опромінення.

Первинні процеси радіолізу води

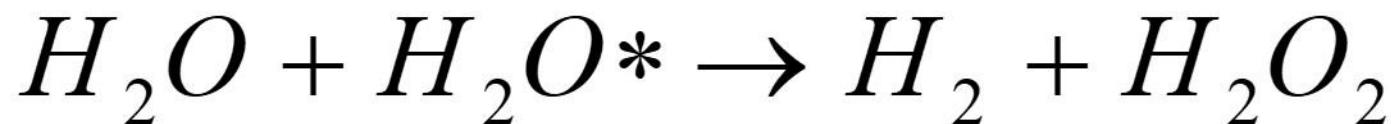
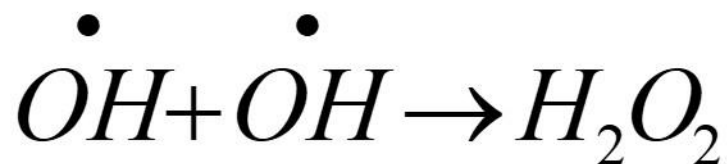
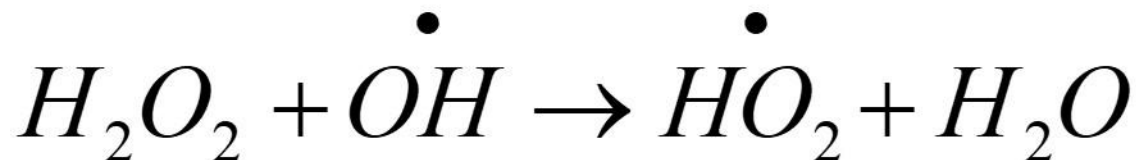
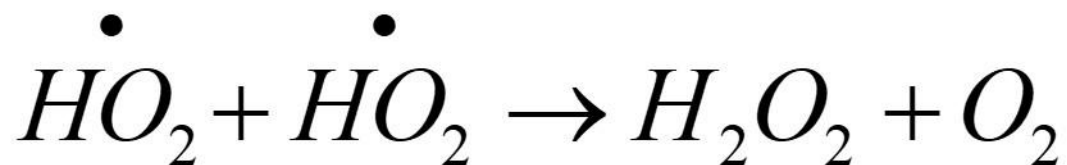
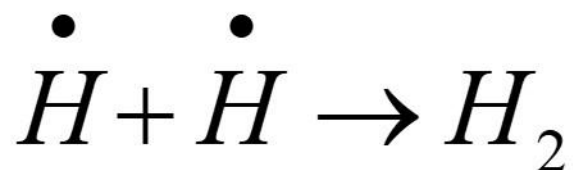
іонізація молекул води



збудження



Вторинні процеси раліоліза води. Утворення молекулярних продуктів радіолізу води



Механізм біологічної дії випромінювань (пряма і непряма дія опромінення)

1. Непряма дія іонізуючого випромінювання.

Ушкодження макромолекул внаслідок взаємодії окремих їх частин із продуктами радіолізу води відносять до непрямой дії радіації.

Хімічно активні продукти, що утворилися на першому етапі розвитку ураження, вступають у хімічні, переважно окислювальні реакції і завершуються зміною біологічно важливих молекул.

2. Пряма дія іонізуючого випромінювання.

Пряма дія іонізуючого випромінювання може спричинити розщеплення молекул ДНК, білка, розрив найменш міцних зв'язків, відрив радикалів та інші денатураційні процеси.

Це безпосередня передача енергії біологічно активним молекулам.

Механізм біологічної дії випромінювань

І пряме і непряме ушкодження макромолекул призводить зміну їх функціональних властивостей, тобто, у радіаційному пошкодженні клітин бере участь як прямий, і непрямий механізм

Проте, слід зазначити, що і пряма і непряма дія радіації не пояснюють пошкоджуючого дії випромінювання.

Так, при абсолютно смертельній дозі, що дорівнює людині 6 Гр на все тіло, в 1 см³ утворюється 10¹³ іонів, що становить одну іонізаційну молекулу води з 10 млн. молекул.

Незначність поглиненої кількості енергії, що викликає тяжкі наслідки, можна продемонструвати декількома прикладами.

Наприклад: смертельна доза рентгенівського випромінювання буде меншою від теплової, поглиненої організмом енергії після випитої чашки гарячої кави або кількох хвилин прийняття сонячних ванн.

У свою чергу, смертельну дозу можна порівняти з механічною енергією: вона відповідатиме роботі, виконаній однією людиною при підйомі іншої людини на висоту 40 см над рівнем статі.

Утворення радіотоксинів

Більш обґрунтованою гіпотезою, що пояснює шкідливу дію випромінювання на організм, є гіпотеза утворення радіотоксинів, які накопичуються в опроміненому організмі, сорбуються ядрами клітин, пригнічують синтез ДНК, пригнічують розподіл, ріст і розвиток клітин, викликають мутації, а при високих концентраціях, що виникають при високих дозах, призводять до загибелі клітин та організму в цілому.

3. Радіотоксини.

Виділяють поняття первинних та вторинних радіотоксинів.

- Первинними радіотоксинами є речовини, що утворюються у клітинах опромінених організмів.

До них відносяться радіотоксини ліпідної або фенольно-хіноїдної природи, які спричиняють розвиток радіаційного ураження.

- До вторинних радіотоксинів слід відносити різні біологічно активні речовини білкової природи, накопичення яких у підвищених кількостях може відігравати важливу роль у променевій токсемії та загибелі організмів.

Наслідки впливу опромінення

Всі наслідки, що розвиваються при опроміненні організму людини, можуть бути розділені умовно на дві групи: соматичні та генетичні.

1. Соматичні (тілесні) ефекти – це наслідки впливу опромінення на самого опроміненого, а не на його потомство.

Соматичні ефекти опромінення ділять на: стохастичні (імовірнісні) та нестохастичні.

а). До соматико-стохастичним ефектів відносять злоякісні утворення та пухлини, ініційовані опроміненням.

б). До нестохастичних соматичних ефектів відносять ураження, тяжкість яких залежить від дози опромінення та для виникнення яких існує дозовий поріг (не злоякісні ушкодження шкіри (променевий опік), катаракта очей, постійна або тимчасова стерилізація).

2. Генетичні ефекти – вроджені потворності та порушення, що передаються у потомкам.

Генетичні ефекти, як і соматико-стохастические немає порога, тобто мало залежить від потужності дози.

Радіаційні ефекти опромінення людей

Соматичні (тілесні)	Соматико-стохастичні	Генетичні (уроджені потворності)
Гостра променева хвороба	Скорочення тривалості життя	Домінантні генні мутації
Хронічна променева хвороба	Лейкози (злоякісні зміни кровотворних клітин)	Рецесивні генні мутації (які не розвиваються)
Локальні променеві поразки	Пухлини різних органів та клітин	Хромосомні аберації (структурні зміни)

Радіочутливість та радіорезистентність

У радіобіології широко використовуються два терміни, що характеризують ставлення організму до іонізуючих випромінювань – радіочутливість та радіорезистентність.

Під терміном радіочутливість розуміють здатність організму реагувати на мінімальні дози радіації.

Терміном «радіорезистентність (радіостійкість)» характеризують здатність організму переносити високі дози радіації, виражені напівлетальними D50 та летальними D100 дозами.

Відповідно до цих визначень – чим менше доза, що викликає нелетальні радіобіологічні ефекти, то вище радіочутливість організму.

І чим більша доза, що викликає загибель організму, тим вища його радіостійкість. Радіостійкість живих організмів різних видів варіює у дуже широких межах (від 1Гр для людини до десятків тисяч для бактерій та вірусів).

Організм людини може характеризуватись двома межами доз: нижньою для радіочутливості та верхньою для радіостійкості.

Інтервал між цими дозами називається діапазоном радіобіологічних доз.

Критичні органи при зовнішньому опроміненні

Радіочутливість живих організмів та окремих органів визначається клітинами, які перебувають у стані ділення.

Саме ці клітини складають в органі не більше кількох відсотків від усієї маси клітин.

Ці органи отримали назву критичних.

Під критичними органами розуміють життєво важливі органи чи системи, які першими і виходять із ладу в даному діапазоні доз випромінювання, що зумовлюють загибель організму.

Залежно від радіочутливості встановлено три групи критичних органів та тканин:

1 група – все тіло, гонади, червоний кістковий мозок;

11 група – м'язи, щитовидна залоза, жирова тканина, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт;

111 група – шкірний покрив, кісткова тканина, кисті, гомілка, стопи.

Особливості біологічної дії інкорпорованих радіонуклідів

При попаданні радіоактивних речовин усередину організму людини залежно від їх фізичних характеристик, кількості та часу знаходження, в організмі можуть спостерігатися ті ж радіобіологічні ефекти, що і при рівних поглинених дозах зовнішнього опромінення.

Підвищена небезпека радіоактивних речовин, що потрапили всередину організму, обумовлена низкою причин:

- Головна (перша) – це здатність деяких радіонуклідів вибірково накопичуватися в окремих тканинах та органах.

Якщо при зовнішньому опроміненні всі тканини опромінюються рівномірно, то при внутрішньому виникає загроза локального переопромінення окремих органів і тканин.

1. Вибіркове накопичення радіонуклідів

У процесі обміну речовин в організмі людини радіонукліди замінюють атоми стабільних елементів у різних структурах клітин, біологічно активних сполуках, що призводить до високих локальних доз.

При розпаді радіонукліду утворюються ізотопи хімічних елементів, що належать сусіднім групам періодичної системи, що може призвести до розриву хімічних зв'язків та перебудови молекул.

Ефект радіаційного впливу може виявитися зовсім не в тому місці, яке зазнавало опромінення.

При локальному опроміненні також підвищується ймовірність появи злоякісних пухлин.

У таблиці наведено інформацію про накопичення деяких радіоактивних елементів у людини.

Таблиця – Органи максимального накопичення радіонуклідів

Елемент		Найбільш чутливий орган чи тканина	Маса органа або тканини, кг	Доля повної дози *
водень	H	Все тіло	70	1.0
вуглець	C	Все тіло	70	1.0
Натрій	Na	Все тіло	70	1.0
Калій	K	Мишечна тканина	30	0.92
Стронцій	Sr	Кість	7	0.7
Йод	I	Щитовидна железа	0.2	0.2
Цезій	Cs	Мишечна тканина	30	0.45
Барій	Ba	Кістка	7	0.96
Радій	Ra	Кістка	7	0.99
Торій	Th	Кістка	7	0.82
Уран	U	нирки	0.3	0.065
Плутоній	Pu	Кістка	7	0.75

2. Збільшення небезпеки впливу α - та β -випромінювачів

Другою важливою особливістю інкорпорованих радіоактивних речовин є збільшення небезпеки впливу α - та β -випромінювачів, які через низьку проникаючу здатність не становлять небезпеки для внутрішніх тканин організму при зовнішньому опроміненні, але стають найсильнішими джерелами іонізуючої радіації при потраплянні всередину організму.

Особливо це стосується нуклідів – джерел α -випромінювання: плутонію, америцію, полонію, урану, радію, які мають високу відносну біологічну ефективність, можуть викликати важкі променеві пошкодження.

Третьою особливістю дії інкорпорованих радіонуклідів є, як правило, тривалі терміни опромінення організму.

Критичні органи при внутрішньому опроміненні

Органи, що зазнали найбільшого опромінення внаслідок переважного накопичення радіонуклідів, називають критичними.

За здатністю накопичувати радіоактивні речовини, основні органи можна розташувати в наступний ряд:

щитовидна залоза > печінка > скелет > м'язи.

Так, до 30% радіоактивного йоду депонується у щитовидній залозі, яка становить 0,02 – 0,05% маси тілалюдини.

Саме завдяки такому швидкому накопиченню радіоактивного йоду в щитовидній залозі внаслідок Чорнобильської катастрофи.

Майже виключно накопичується в скелеті стронцій та ітрій, при цьому піддаючи хронічному опроміненню найважливіші критичні органи – кістковий мозок – це остеотропні радіонукліди.

До 60% концентрується в печінці церій та лантан (гепатотропні радіонукліди).

У м'язах накопичуються калій, цезій, рубідій.

Рівномірно розподіляються – тритій, вуглець, залізо, полоній.

Шляхи надходження радіонуклідів в організм людини

Надходження радіонуклідів в організм людини здійснюється такими шляхами:

1. Інгаляційний шлях – при вдиханні забрудненого аерозолями повітря.
2. Аліментарний – через шлунково-кишковий тракт з водою та їжею.
3. Контактний – через пошкоджену та непошкоджену шкіру.

Слід зазначити, що основним шляхом надходження радіонуклідів до організму є шлунково-кишковий тракт.

Крім прямого шляху надходження радіоактивних речовин (з водою, пилом) радіонукліди можуть бути інкорпоровані людиною, пройшовши досить складний шлях у навколишньому середовищі.

Можна виділити кілька харчових ланцюгів, якими радіонукліди надходять у організм людини:

1. Водосм – дітопланктон – зоопланктон – молюски – риби – людина
2. Ґрунт – рослини – домашні та дикі тварини – людина.
3. Ґрунт – рослини – корови – молоко – людина.
4. Ґрунт – рослини (овочі, злаки) – людина.

Таким чином, основними депо радіонуклідів є ґрунт і води

Вміст природних радіонуклідів у продуктах харчування 99

N/п	Харчові продукти	Природна питома радіоактивність, Бк/кг
1	Хліб	20...60
2	Картопля	170
3	Капуста	140
4	Томати	70...90
5	Цибуля	40...50
6	Часник	70...80
7	Пшено, рис, гречка	60...70
8	Квасоля, боби	310...330
9	М'ясо	60...130
10	Риба	50...100
11	Олія: - соняшникова - соєва - вершкова	100, 480, 30
12	Молоко, кефір, сир	30...60
13	Чай	730...770
14	Какао-порошок	700...1000
15	Кава розчина	900
16	Сухофрукти	170...560
17	Ягоди, яблука	20...110



ТЕМА 16

**Норми радіаційної безпеки
та принципм радіаційного
захисту**

Радіаційна безпека

Необхідність розробки та впровадження системи заходів та стандартів радіаційного захисту стала очевидною ще на початку ХХ століття.

У 1928 р. на 2-му Міжнародному конгресі з радіології була створена Міжнародна комісія з радіаційного захисту (МКРЗ), яка в тому ж році опублікувала рекомендації з питань радіаційного захисту.

У 1934 р. МКРЗ опублікувала рекомендації, в яких як толерантна (перенесена) доза була встановлена доза зовнішнього опромінення 200 мР/добу.

Надалі це значення було зменшено вдвічі. Термін "толерантний" був замінений терміном "гранично допустима доза" (ГДД).

У 1958 р. було рекомендовано діючу досі ГДД опромінення, яка дорівнює 0,05 Зв (5 Р).

В 1966 р. були опубліковані рекомендації МКРЗ, в яких визначено принципи радіаційного захисту, вимоги до обмеження доз і наведено обґрунтування нормативів.

Мета радіаційного захисту

В результаті були вироблені норми радіаційної безпеки, що відображають дійсну роль іонізуючих випромінювань з точки зору їх шкоди здоров'ю людини.

При цьому необхідно пам'ятати, що норматив є результатом компромісу між ризиком і вигодою.

Мета радіаційного захисту за визначенням МКРЗ полягає в тому, щоб забезпечити захист від іонізуючого випромінювання окремих осіб, їх потомство та людство загалом і в той же час створити відповідні умови для необхідної практичної діяльності людини, під час якої люди можуть зазнавати впливу іонізуючих випромінювань.

Норми радіаційної безпеки України

В даний час у практиці радіаційного захисту приймається положення про те, що будь-які нормативи для людини та людської популяції одночасно гарантують також надійність для окремих біоценозів та біосфери в цілому.

Основним державним документом, який встановлює систему радіаційно-гігієнічного контролю для забезпечення прийнятних рівнів опромінення як для окремої людини, так і для суспільства в цілому, є Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97).

Принципи радіаційного захисту

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист щодо практичної діяльності будуються з використанням наступних принципів:

1. Принцип виправданості – будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватися, якщо вона не приносить більшої користі особам, що опромінюються, або суспільству в цілому в порівнянні з шкодою, яку вона завдає;

2. Принцип неперевищення – рівні опромінення від усіх видів практичної діяльності, що підпадають під регулювання, не повинні перевищувати встановлені межі доз;

3. Принцип оптимізації-рівні індивідуальних доз та/або кількість опромінених осіб по відношенню до кожного джерела випромінювання повинні бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з урахуванням економічних та соціальних факторів.

Категорії опромінених осіб

Згідно з Нормами радіаційної безпеки НРБО-97, завданням яких є гігієнічне нормування опромінення людини, встановлено такі категорії осіб, що опромінюються:

- категорія А (персонал) – особи, які постійно або тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінювань;
- категорія Б (персонал) – особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінювань, але у зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримувати додаткове опромінення;
- категорія В – решта населення.

Основні дозові межі

Категорії осіб	Групи критичних органів		
	I	II	III
	Межі доз DLE(мЗв/год)		
A	50	150	500
Б	5	15	50
В	5	15	50

Опромінення в таких дозах за даними багаторічних спостережень не створює небезпеки розвитку ні гострих, ні хронічних захворювань.

Критичні органи

При оцінці наслідків опромінення всі органи та тканини в порядку зменшення їх радіочутливості об'єднані у три групи критичних органів для кожної з яких встановлені відповідні дозові межі:

1. Все тіло, гонади, кістковий мозок;
2. Щитовидна залоза, молочна залоза, селезінка, підшлункова залоза, кришталик ока, жирова тканина, печінка, нирки;
3. Шкірний покрив, кісткова тканина, щиколотки, стопи, кисті рук.

В Україні дозові межі регламентуються Нормами радіаційної безпеки НРБО-97, що діють з 1997 року, заснованими на відповідних міжнародних нормах.

У НРБО-97 замість поняття еквівалентної ефективної дози введено межі доз (МД) для різних органів людини.

Дозові межі, що не включають НРБО-97

- 1. Дозу, що отримується пацієнтом при медичному обстеженні та лікуванні;**
- 2. Дозу опромінення, зумовлену природним радіаційним фоном;**
- 3. Дозу, пов'язану з аварійним опроміненням населення;**
- 4. Дозу опромінення від техногенно посилених джерел природного походження.**